



Actes des journées coton du Cirad

Montpellier, du 17 au 21 juillet 2000

**Programme Coton
Cirad-ca**



Mesure d'allogamie en parcelle de sélection

LANÇON, Jacques^{1,2} ; HOUGNI, Alexis² ; SEKLOKA, Emmanuel² ; DJABOUTOU, Mossibaou²

¹ Cirad-ca, Programme coton, TA 72/09, 34398 Montpellier Cedex 5, France

² INRAB-RCF, 01 BP 715, Cotonou, Bénin

1 Introduction

Si le régime de reproduction dominant chez le cotonnier est l'autogamie, celle-ci n'est ni totale, ni obligatoire. En fécondation libre, la proportion de graines issues de pollinisation croisée varie en fonction de l'abondance de pollinisateurs et de la distance séparant la source de pollen. Moresco et al (1999) sur Moco ou Lançon (1994) mentionnent une allogamie de 30% dans certaines circonstances.

Ce taux est un paramètre important qui mérite d'être pris en compte pour la conception ou l'aménagement d'un programme de sélection. Il permet en effet d'estimer les risques de pollution génétique d'une population par une autre et la nécessité de prévoir des mesures conservatoires coûteuses comme l'autofécondation ou l'isolement.

L'objectif de cet article est de proposer un modèle capable de fournir une estimation du taux d'allogamie indépendante des dimensions du dispositif mis en place pour sa mesure ainsi que de certains effets du milieu. L'intérêt de cette modélisation est double : d'une part, comparer le niveau de fécondation croisée dans différentes situations et, d'autre part, en prédire l'évolution lorsque certains facteurs de milieu sont modifiés.

2 Matériel et méthode

2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif de sélection cotonnière de la Rcf à Okpara, près de Parakou (Bénin) occupe une surface d'environ 1,5 ha. Celui de Cana, près de Bohicon occupe une surface plus modeste (approx. 0,1 ha) mais il est entouré de cultures de cotonniers.

Au centre de chaque site, un petit bloc de cotonniers *glandless* composé de 10 lignes de 20 m de longueur a été installé, à l'écartement de 0,8 m x 0,5 m (25.000 plantes/ha) à Okpara et 1 m x 0,5 m (20.000 plantes/ha) à Cana.

La protection phytosanitaire est assurée au rythme d'une pulvérisation par semaine du début de la floraison à l'ouverture des premières capsules.

2.2 Matériel génétique

Le caractère *glandless* se manifeste par une absence de glandes à gossypol dans tout le cotonnier et, en particulier, dans l'amande de la graine. Le déterminisme génétique de ce caractère peut être variable (Pauly, ...) mais, dans ce cas, il est di-génique récessif. L'embryon

(amande) d'une graine portée par une plante *glandless* peut donc être dans deux états : dépourvue de gossypol si elle a été fécondée par du pollen *glandless* ou normale, portant des glandes à gossypol, si elle a été fécondée par du pollen normal.

En contrôlant l'aspect des amandes, on peut alors identifier la nature du pollen qui a assuré la fécondation.

La variété *glandless* G 165 provient de la collection de cotonniers. Elle a été créée en Côte d'Ivoire et au Togo, testée dans de nombreux essais au Bénin avant d'être abandonnée en même temps que la culture du coton *glandless*.

2.3 Observations

Dans la parcelle d'essai, 48 plantes sont choisies de façon répartie et marquées. Pour s'assurer de leur homozygotie pour le caractère *glandless*, une capsule a été autofécondée sur chacune. Sont conservées comme témoins d'allogamie, les plantes dont toutes les graines issues d'autofécondation sont *glandless*.

Sur les plantes retenues (45 sur 48), deux échantillons de 100 graines sont prélevés sur la récolte des fleurs en pollinisation libre. Le nombre de graines portant des glandes indique le pourcentage de fécondation réalisée par du pollen normal, *ie* extérieur à la parcelle. Le taux d'allogamie de la plante p (a_p) est calculé d'après la moyenne des deux échantillons.

Tab. 1.- Plantes échantillonnées dans la parcelle *glandless*.

Lignes	Commentaire	N° poquet sur la ligne	Position sur la ligne
1 ou 10	Lignes De bordure de la parcelle	1, 2, 39 ou 40	De l'extrémité Vers le milieu Des lignes
		4, 5, 35 ou 36	
		10, 11, 19 ou 20	
		19, 20, 21 ou 22	
2 ou 9	Secondes Bordures	1, 2, 39 ou 40	De l'extrémité Vers le milieu Des lignes
		4, 5, 35 ou 36	
		10, 11, 19 ou 20	
		19, 20, 21 ou 22	
5 ou 6	Lignes Internes à la parcelle	1, 2, 39 ou 40	De l'extrémité Vers le milieu Des lignes
		4, 5, 35 ou 36	
		10, 11, 19 ou 20	
		19, 20, 21 ou 22	

2.4 Expression de l'allogamie en un point p

On estime que le taux d'allogamie a_p observé en un point quelconque de la parcelle peut être exprimé en fonction 1) du flux de pollen exogène f_p en ce point et 2) du niveau d'allogamie a_s en ce point.

$$(1) \quad a_p = f_p \times a_s$$

Le flux de pollen est une fonction de la masse de pollen m_p environnante et d'une dynamique de dissémination de ce pollen qui peut être modélisée.

2.4.1 Masse pollinique

On considère que m_p dépend de la distance de la plante p aux sources polliniques les plus proches et du poids relatif de ces différentes sources.

En schématisant, une plante peut être placée à l'intersection de quatre axes de pollen, qu'on baptise arbitrairement nord, est, sud et ouest. Cette plante est repérée par sa distance à chacune de ces quatre sources, notée n , e , s ou o .

Dans le cas où les quatre sources polliniques ne produisent pas une masse de pollen identique, on affecte à chacune un poids spécifique p :

$$(2) \quad \frac{1}{m_p} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{p_n}{n} + \frac{p_e}{e} + \frac{p_s}{s} + \frac{p_o}{o} \right)$$

Le poids p_i est égal à 1 lorsque la source pollinique est de taille maximale. On peut, par exemple, considérer que :

$p = 1$ pour une parcelle pleine

$p = 0,5$ pour une petite parcelle ou une ligne

$p = 0,2$ pour une plante isolée

Dans notre dispositif, la parcelle *glandless* est au milieu d'un bloc de cotonniers normaux. On admet donc que les quatre sources sont équivalentes et d'un poids maximal, égal à 1.

Dans ce cas, m_p est égal à d_p , la distance moyenne de cette plante aux différentes sources de contamination pollinique possible, telle que :

$$(3) \quad \frac{1}{m_p} = \frac{1}{d_p} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{e} + \frac{1}{s} + \frac{1}{o} \right)$$

On note aussi d_{\min} la distance de ce point à la source de contamination pollinique la plus proche :

$$(4) \quad d_{\min} = \min(n, e, s, o)$$

2.4.2 Notion d'allogamie standard

Parallèlement, a_s peut être considérée comme dépendant de paramètres locaux, environnementaux ou culturels susceptibles de modifier la fréquence des visites florales par les pollinisateurs en agissant soit sur les populations d'insectes (climat, protection phytosanitaire), soit sur le volume de la floraison des cotonniers (fertilité, pluviométrie, densité), soit enfin sur l'interaction plante-insecte (date de semis, fertilisation).

On considère arbitrairement que l'allogamie standard a_s en un point est celle qui correspond, pour un dispositif et un environnement donné, au taux de fécondation croisée mesuré sur une plante environnée par 4 sources de pollen d'importance équivalente et maximale, situées chacune à 1 m exactement.

Autrement dit, cette plante est telle que $m_p = d_p = d_{\min} = 1$

2.4.3 Estimation du flux pollinique f_p

Dans notre dispositif, les quatre sources polliniques étant équivalentes, on peut remplacer m_p par d_p dans l'expression de la dynamique de dissémination du pollen :

Modèle (d) : (5) $\frac{1}{f_p} = \frac{1}{d_p}$

Modèle (min) : (6) $\frac{1}{f_p} = \frac{1}{d_{\min}}$

Modèle R (d,min) : (7) $\frac{1}{f_p} = \sqrt{\frac{1}{d_p} \times \frac{1}{d_{\min}}}$

Modèle R (d^2 ,min) : (8) $\frac{1}{f_p} = \sqrt[3]{\frac{1}{d_p^2} \times \frac{1}{d_{\min}}}$

Modèle S (4d,min) : (9) $\frac{1}{f_p} = \frac{1}{5} \left(\frac{4}{d_p} + \frac{1}{d_{\min}} \right)$

Modèle S (d,min) : (10) $\frac{1}{f_p} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{d_p} + \frac{1}{d_{\min}} \right)$

Modèle PR (d,min) : (11) $\frac{1}{f_p} = \frac{1}{d_p} \times \frac{1}{\sqrt{d_{\min}}}$

Modèle P (d,min) : (12) $\frac{1}{f_p} = \frac{1}{d_p} \times \frac{1}{d_{\min}}$

2.5 Comparaison des modèles

La parcelle ayant un axe de symétrie verticale et un axe de symétrie horizontale, on peut considérer qu'elle est réductible à l'échelle 1/4, les 48 points de contrôle pouvant être regroupés en 12 points équivalents (tab. 1).

Chaque modèle conduit à une évaluation différente de f_p et, par conséquent de a_s . Pour classer la performance de chaque modèle, on considère que le meilleur est celui qui permet d'obtenir l'estimation la plus stable de a_s en un point quelconque de la parcelle. Ce qui peut encore se traduire par la valeur la plus basse du coefficient de variation de a_s calculé pour les 12 points équivalents.

3 Résultats

3.1 Résultats bruts

Les résultats sont exprimés en pour cent de graines croisées (tab. 2). Ils sont présentés sur les 12 points de référence d'un quart de parcelle.

Comme on s'y attendait, à Okpara les taux de fécondation croisée sont décroissants des lignes extérieures (2,5 à 6,9%) vers les lignes intérieures (0,5 à 1,6%) et des plants de début de ligne (1,3 à 6,9%) vers les plantes de milieu de ligne (0,5 à 5%).

Les résultats bruts sont beaucoup plus irréguliers à Cana en raison de retards au semis et de levées très irrégulières.

Les valeurs brutes fournies par le dispositif; que ce soit la moyenne (*rpt* 3,7% à Okpara et 1,8% à Cana) ou le maximum (*rpt* 6,9% et 3,1%), ne peuvent pas être utilisées comme standard de la localité.

Tab. 2.- Allogamie standard en différents points de la parcelle selon le modèle (Okpara et Cana 1999).

Lignes	Position sur la ligne	Allogamie observée %		Moyenne par ligne %	
		Okpara	Cana	Okpara	Cana
1 ou 10	De l'extrémité	<u>6,9</u>	2,8	4,3	1,5
	Vers le milieu	2,6	1,1		
	Des lignes	2,5	2,3		
		5,0	1,6		
2 ou 9	De l'extrémité	1,5	2,8	2,7	3,0
	Vers le milieu	4,3	1,5		
	Des lignes	3,1	1,5		
		2,0	<u>3,1</u>		
5 ou 6	De l'extrémité	1,3	2,4	1,1	0,8
	Vers le milieu	1,6	<u>0,8</u>		
	Des lignes	1,1	2,0		
		<u>0,5</u>	1,2		

Nota : les valeurs extrêmes sont en gras et soulignées

3.2 Allogamie standard

La comparaison des 8 modèles de flux proposés est présentée au tableau 3 pour le dispositif d'Okpara, celui de Cana n'étant pas considéré comme suffisamment fiable.

Les modèles correspondant aux équations (5) à (10) sont homogènes et de même degré.

Les deux derniers, (11) et (12), produisent les estimations les moins stables. Ce qui laisse supposer que le flux pollinique est une fonction linéaire de la distance à la source de pollen.

On peut considérer que le modèle R (d,min) est celui qui rend le mieux compte des taux d'allogamie observés. Les 5 modèles suivants sont un peu moins performants mais ils ne sont

pas à écarter. Il est intéressant de noter que les meilleurs modèles font doublement appel à la distance la plus courte (d_{\min}), puisque celle-ci intervient déjà dans l'estimation de la distance moyenne.

Tab. 3.- Taux d'allogamie observé et standard suivant différents modèles.

Modèle	Mode de calcul de f_p	Equation	Moyenne	Ecart-type	CV%
Brut	1		2,7	0,9	35,2
R (d,min)	$(1/d \times 1/\min)^{1/2}$	(7)	6,4	0,6	9,2
R (d^2 ,min)	$(1/d^2 \times 1/\min)^{1/3}$	(8)	7,3	0,7	9,4
S (d,min)	$1/5 (4/d + 1/\min)$	(9)	7,6	0,7	9,5
M (d,min)	$1/2 (1/d + 1/\min)$	(10)	5,8	0,6	10,4
(d)	$1/d$	(5)	9,7	1,2	12,6
(min)	$1/\min$	(6)	4,3	0,6	14,8
PR (d,min)	$1/d \times 1/\min^{1/2}$	(11)	12,6	2,0	16,0
P (d,min)	$1/d \times 1/\min$	(12)	17,8	6,2	34,6

Nota : avec $d = d_p$ et $\min = d_{\min}$

Le tableau 4 montre l'effet régulateur de la modélisation.

Avec les trois modèles présentés, les estimations extrêmes de a_s sont lissées puisqu'elles ne varient plus que de 1 à 3 environ contre 1 à 14 pour les valeurs brutes. De plus, elles sont réparties géographiquement de façon plus aléatoire.

Tab. 4.- Allogamie standard en différents points de la parcelle selon le modèle (Okpara 1999).

Lignes	Position sur la ligne	Valeurs Brutes	Modèle R (d,min)	Modèle R (d^2 ,min)	Modèle R (d)
1 ou 10	De l'extrémité	<u>6,9</u>	9,2	11,0	13,5
	Vers le milieu	2,6	<u>3,6</u>	4,4	6,3
	Des lignes	2,5	4,8	5,8	8,5
		5,0	7,2	8,8	13,0
2 ou 9	De l'extrémité	1,5	<u>3,6</u>	<u>4,1</u>	<u>5,3</u>
	Vers le milieu	4,3	<u>10,6</u>	<u>12,2</u>	<u>16,4</u>
	Des lignes	3,1	8,1	9,5	13,1
		2,0	5,3	6,2	8,6
5 ou 6	De l'extrémité	1,3	5,8	6,4	7,6
	Vers le milieu	1,6	7,3	7,7	8,5
	Des lignes	1,1	7,4	8,0	9,2
		<u>0,5</u>	3,8	<u>4,1</u>	4,8

Nota : les valeurs extrêmes sont en gras et soulignées

4 Discussion et conclusion

On peut donc estimer que le taux standard de fécondation croisée a_s est largement supérieur au taux moyen mesuré sur la parcelle. A Okpara, il est compris entre 6 et 10% (valeurs fournies par les premiers modèles) et probablement proche de 6,5 à 7%.

Ces chiffres sont assez comparables à ceux qui ont été obtenus dans plusieurs autres dispositifs d'Afrique de l'Ouest ou du centre (Lançon, 1995). Ils confirment que le risque de fécondation croisée est suffisamment élevé pour être pris en compte lors des phases de sélection et de multiplication variétale. On trouve une liste de précautions efficaces dans le

programme de sélection du Cameroun (Bachelier et al, 1999) : autofécondation forcée, isolement (bordures, regroupement par consanguinité, distance), augmentation de la densité de culture et de la fréquence des pulvérisations insecticides. Leur mise en œuvre a permis de maîtriser les risques de dérive génétique à moindre coût.

Dans le cas où les quatre sources polliniques ne sont pas équivalentes en masse de pollen produit, on a vu qu'on peut améliorer le modèle en pondérant chacune selon son importance (équation (2)).

D'autres facteurs agissent également sur l'importance de l'allogamie. La densité de culture ou le développement végétatif des cotonniers ont une incidence sur la quantité de pollen endogène émise par la parcelle receveuse. On peut penser que plus ce pollen est abondant, plus la probabilité de fécondation croisée est basse. C'est surtout le cas lorsque la densité, donc le nombre de fleurs émises à une même date, comme le montrent les expériences rapportées par Lançon (1994).

Si on appelle, a_{sd} le taux de fécondation standard estimé à partir d'un dispositif de densité D , on peut proposer l'extrapolation suivante du taux de fécondation croisée de référence, a_{sr} :

$$(13) \quad a_{ss} = \frac{\sqrt{D}}{100} \times a_{sr} \quad \text{ou} \quad a_{sr} = \frac{100}{\sqrt{D}} \times a_{sd}$$

D étant exprimée en milliers de plantes par hectare. Soit, en reprenant la formule complète :

$$(14) \quad a_p = a_{sr} \times \frac{\sqrt{D \times m_{\min}}}{200} \times \sqrt{\frac{p_n}{n} + \frac{p_e}{e} + \frac{p_s}{s} + \frac{p_o}{o}}$$

Par des mesures supplémentaires, on pourrait poursuivre l'enrichissement du modèle en prenant en compte d'autres facteurs du milieu, comme la protection phytosanitaire ou la vigueur de floraison résultant de la fertilité de la parcelle.

Pour pouvoir comparer des lieux et des dispositifs, la variété *glandless* utilisée comme receveur doit être constante. En effet, certains auteurs (Omel'chenko, 1984 ; Negmatov 1987) ont montré que la position du style par rapport aux stigmates, qu'ils décrivent comme un facteur génétiquement déterminé, aurait une incidence sur l'importance de la fécondation croisée.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour l'étude de l'allogamie mais aussi, plus largement, pour l'étude des interactions entre génotypes et milieu : la composante du rendement "nombre de graines par capsule" est-elle fortement dépendante de la biologie florale et de l'abondance des pollinisateurs dans le milieu ?

1 Bibliographie

Bachelier, B., Klassou, C., Ison, D., Lacape, J.M., 1999.- Amélioration variétale et technologie cotonnière. Rapport annuel de la campagne 1998-99. *Doc. interne*, IRAD-CIRAD, 53 p.

Lançon, J., 1994.- L'amélioration du cotonnier au CIRAD-CA. *Séminaire "traitements statistiques des essais de sélection"*, série Colloques du CIRAD, 275-293.

Moresco, E.R., Farias, F.J.C., *et al.*, 1999.- Determinação da taxa de alogamia no algodoeiro herbáceo no cerrado do Mato-Grossense. *"Anais II Congresso Brasileiro de Algodão"*, Embrapa, 603-604.

Negmatov, M.N., 1988.- "Study of genetic and breeding of the reproductive systems in cotton". *Referativnyi zhurnal*, 6.65.315.

Omelchen'ko, V.S., 1984.- "Spontaneous hybridization and the structure of cotton variety populations with respect to flower heteromorphism". *Doklady Vsesoyuznoi etc...*, 4, 15-16.

Parry, G., 1983.- Le cotonnier et ses produits. *Techniques agricoles et productions tropicales*, Maisonneuve et Larose, Paris, 502 p.